

PENGARUH TEBAL PASIR TERHADAP MOBILISASI FRIKSI PADA BIDANG KONTAK PASIR DAN GEOTEKSTIL NIRANYAM

Anas Puri¹ dan Hary Christady Hardiyatmo²

ABSTRACT

The use of geotextiles as reinforced earth material needs to know the soil-geotextiles interaction at their interface. To study the effects of sand thickness to the interface of soil-geotextile, the conventional direct shear test was conducted using direct shear tests 100 mm x 100 mm shear box. In these tests, height of samples were varied from 13 mm to 40 mm. Test data was analyzed by the Coulomb-Navier's friction law. The results show that the heights of sand slightly influence the friction parameters. The heights of sand tend to increase the compression, while the expansions tend to decrease. The δ/ϕ' ratio inclines having the same value for $h = 20$ mm and $h = 30$ mm after failure condition. The increasing of the mobilized shear displacements decreases the mobilization of adhesions. Mobilized adhesions after peak value are fluctuated caused by the interlock slip between sand and geotextile.

Keywords: mobilized friction, interface, nonwoven geotextile, displacement, and heights of sand.

PENDAHULUAN

Material geosintetik telah banyak digunakan pada pekerjaan-pekerjaan tanah (*earth works*) untuk memperkuat tanah yang tidak stabil seperti perkuatan lereng, dinding penahan tanah, perkuatan pada dasar badan jalan di atas tanah lunak, perkuatan di bawah dasar fondasi, serta fungsi-fungsi lainnya seperti *separator*, *filter*, dan drainase maupun penanggulangan erosi permukaan. Di tanah air, penggunaan geosintetik sebagai material dalam rekayasa sipil telah mulai berkembang dengan cukup pesat, seperti struktur *quay wall* di Batu Ampar Batam (Djarwadi, 1988), perkuatan dinding tegak pada bangunan pelimpah Dam Muka Kuning Batam (Djarwadi, 2000), perkuatan pada badan ruas jalan di P. Bintan dan P. Setoko (Djarwadi, 2000), perkuatan badan jalan di atas tanah gambut di P. Padang (Irsyam & Shouman, 1998), perkuatan lereng di Kompleks *Guest House* Pemda TK. I Kaltim (Suryolelono, 2000), dan masih banyak lagi yang lainnya. PT. Tetrasa Geosinindo dalam *product catalog*-nya menyebutkan lebih dari 1500 proyek di tanah air yang telah menggunakan produk geosintetik, untuk berbagai jenis dan kegunaannya.

Suatu aspek penting dalam keberhasilan sistem perkuatan tanah adalah bahwa dua material harus cocok dalam hubungan karakteristik atau geometri permukaan, atau kombinasi keduanya, sehingga tegangan dapat ditransfer dari material satu ke yang lainnya (Mitchel & Villet, 1987). Mekanisme transfer tegangan dari tanah terhadap perkuatan adalah gesekan antara tanah dan permukaan perkuatan.

Permukaan geotekstil yang ditempatkan di dalam tanah menciptakan suatu bidang yang tidak kontinyu (*discontinuous plane*) yang dapat menyebabkan suatu slip maupun pergerakan pada bidang kontak. Dalam analisis secara teoritis maupun desain, estimasi pengaruh gesekan antara kedua material dilakukan untuk aplikasi perkuatan tanah, dan parameter friksi seperti sudut gesek antara tanah dan perkuatan (δ), ataupun koefisien gesek mesti ditentukan. Umumnya uji cabut (*pull out test*) dan uji geser langsung digunakan untuk menentukan parameter ini. Adapun uji geser langsung standar mempunyai ukuran minimum kotak geser 300 mm x 300 mm (ASTM D 5321-92 dan BS 6906:Part 8:1991), namun alat geser konvensional dengan kotak geser 100 mm x 100 mm telah pula sukses penggunaannya (Puri, 2003a; Puri dkk, 2003; Lee dan Manjunath, 2000; Garbulewski, 1990; Alenowicz dan Dembicki, 1990, 1987; dan Myles, 1982) dan akan memberikan hasil yang memuaskan untuk geotekstil (Koerner, 1994).

Tahanan friksi (*frictional resistance*) sangat bergantung pada suatu perpindahan geser. Pada hukum friksi Coulomb-Navier, friksi ditentukan dalam bentuk sudut gesek dan kohesi tampak. Fungsi ini dapat dijabarkan sebagai fungsi perpindahan relatif (Makiuchi & Miyamori, 1988). Puri, dkk., (2003) berdasarkan hasil penelitian pada *bidang kontak* pasir dan geotekstil menyimpulkan bahwa pada setiap perpindahan geser, parameter friksi relatif tidak bergantung pada tekanan *overburden* dan mobilisasi sudut gesek pada seluruh bidang kontak pasir-geotekstil menuju nilai yang sama pada akhir

¹ Anas Puri, ST., MT., alumnus Program Studi Teknik Sipil PPs. Universitas Gadjah Mada. Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru-28284, a_puri@eudoramail.com

² DR. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng., DEA., dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

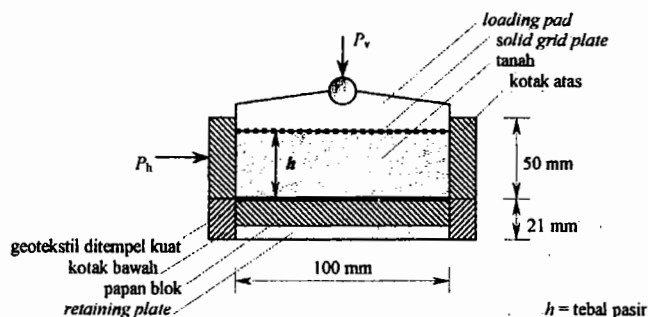
pengujian. Selain itu, rasio sudut gesek yang termobilisasi δ/ϕ' berkisar antara 0,85~0,89 pada kondisi kedudukan puncak dan pada rentang 1,86~1,88 pada akhir uji. Peningkatan rasio ini seiring dengan peningkatan kekakuan geotekstil. Peningkatan mobilisasi perpindahan geser mengurangi mobilisasi adhesi dan cenderung menuju nol. Setelah mencapai adhesi puncak, terjadi fluktuasi yang disebabkan oleh *bidang geser terkunci* antara partikel pasir dan geotekstil.

Puri (2003a) telah melakukan penelitian tentang pengaruh tebal pasir terhadap parameter friksi pada bidang kontak pasir dan geotekstil dengan menggunakan uji geser langsung konvensional, dan pembahasan tentang pengaruh tebal pasir terhadap mobilisasi friksi bidang kontak belum dilakukan. Pada penelitian ini akan dipelajari tentang perilaku dasar pengaruh tebal pasir terhadap mobilisasi friksi *bidang kontak* pasir dan geotekstil niranyam.

CARA PENELITIAN

Alat

Alat utama yang digunakan adalah peralatan uji geser langsung konvensional dengan kotak geser modifikasi ukuran 100 mm x 100 mm, dan kotak geser atas dengan tinggi 50 mm. Kotak geser bawah diberi *dummy block* berupa papan jati dengan ketebalan yang disesuaikan dengan ketebalan geotekstil, sedangkan geotekstil ditempel kuat pada *dummy block*. Gambar 1 memperlihatkan potongan melintang kotak geser untuk uji geser pasir-geotekstil (Puri, 2003a). Tebal pasir divariasikan yaitu 13 mm, 20 mm, 30 mm, dan 40 mm.



Gambar 1. Tipikal uji geser langsung pada kotak geser modifikasi (Puri, 2003a)

b. Bahan

Geotekstil niranyam digunakan sebagai material perkuatan dengan tipe TS 30, dan TS 60. Geotekstil ini tersusun atas serat-serat menerus dari bahan 100% *polypropylene* yang bersifat tahan terhadap sinar ultra violet (UV) dan dibuat dengan cara ditusuk-tusuk (*needle punched*). Sifat-sifat geotekstil ini disajikan pada Tabel 1. Adapun tanah yang digunakan adalah pasir pantai yang diambil dari Pantai Sundak Daerah Istimewa Yogyakarta. Gradasi butiran dipilih, yaitu lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan tertahan ayakan No.20 (0,85 mm). Pasir ini bergradasi seragam sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2, dengan bentuk butiran bulat sempurna (*wellrounded*) dan berasal dari batuan pasir fosil (kerang) dengan komposisi mineral berupa kalsit, magnesium dan aragonit. Sifat-sifat pasir ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Sifat-sifat geotekstil nir-anyam

No.	Keterangan	Satuan	Tipe Geotekstil	
			TS 30	TS 60
1	Kuat tarik rerata	kN/m	13	19
2	<i>Tensile elongation at break</i> (md/cd)	%	88/40	110/43
3	Massa per satuan luas	g/m ²	155	250
4	Tebal (pada tekanan 2 kPa.)	mm	1,5	2,2

Tabel 2. Sifat-sifat pasir Pantai Sundak

Diamater butiran rerata (D_{50})	Koefisien keseragaman (C_u)	Berat Jenis (G_s)	Berat volume kering maksimum γ_{maks}	Berat volume kering minimum γ_{min}	Sudut gesek internal pada $D_r = 85\%$ Direct shear test
1,305 mm	1,53	2,69	11,933 kN/m ³	10,721 kN/m ³	36,64°

Prosedur uji

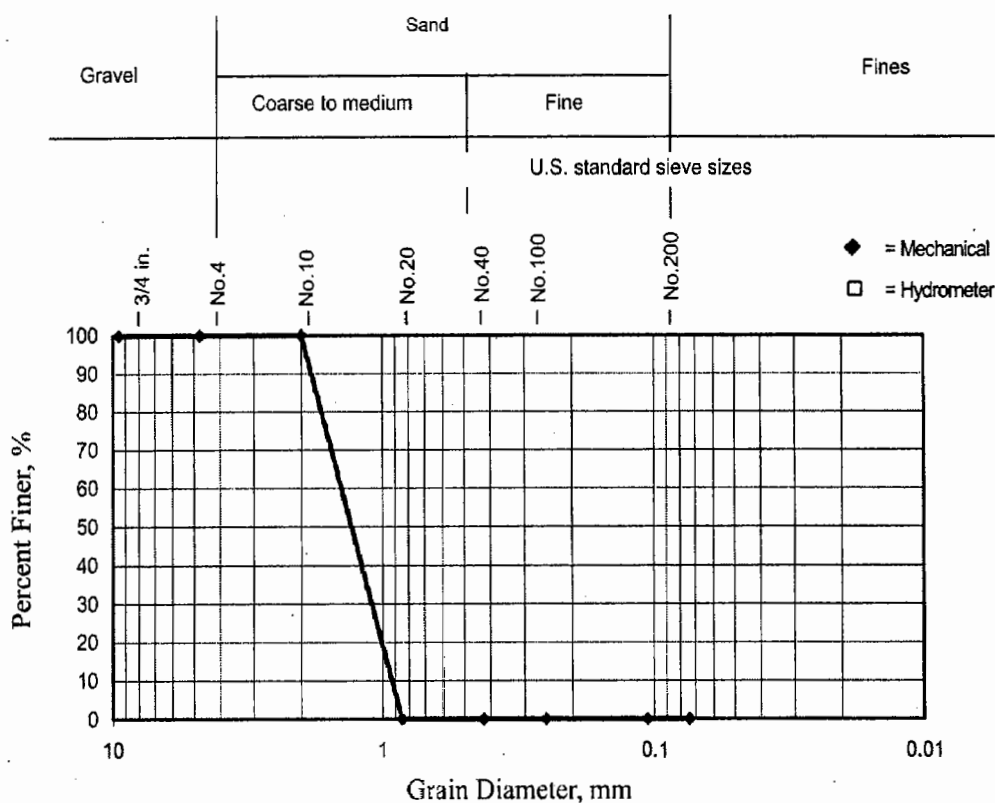
Geotekstil dipotong dengan ukuran 100 mm x 100 mm, ditempel kuat pada *dummy block* dengan menggunakan lem kayu merek fox dan rata dengan permukaan kotak geser bawah. Pasir uji pada kondisi kering *oven* dituang ke dalam kotak geser lapis demi lapis dengan ketebalan yang sama, tiap lapis dipadatkan dengan menggunakan *tamper* berukuran 98 mm x 98 mm. Setiap uji diusahakan kepadatan relatif rerata $D_r = 85\%$, dengan menggunakan pendekatan volume melalui berat volume pasir. Berat volume untuk $D_r = 85\%$ adalah $11,733 \text{ kN/m}^3$ (porositas $n = 55,8\%$ dan angka pori $e = 1,263$). Tegangan normal yang diberikan yaitu 25 kN/m^2 , 50 kN/m^2 dan 100 kN/m^2 . Sebelum dilakukan penggeseran, pasir dibiarkan tertekan selama 10 menit, agar partikel-partikel pasir dapat saling menyesuaikan diri. Kecepatan geser diberikan sebesar $1,06 \text{ mm/menit}$. Penggeseran dilakukan pada arah panjang geotekstil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

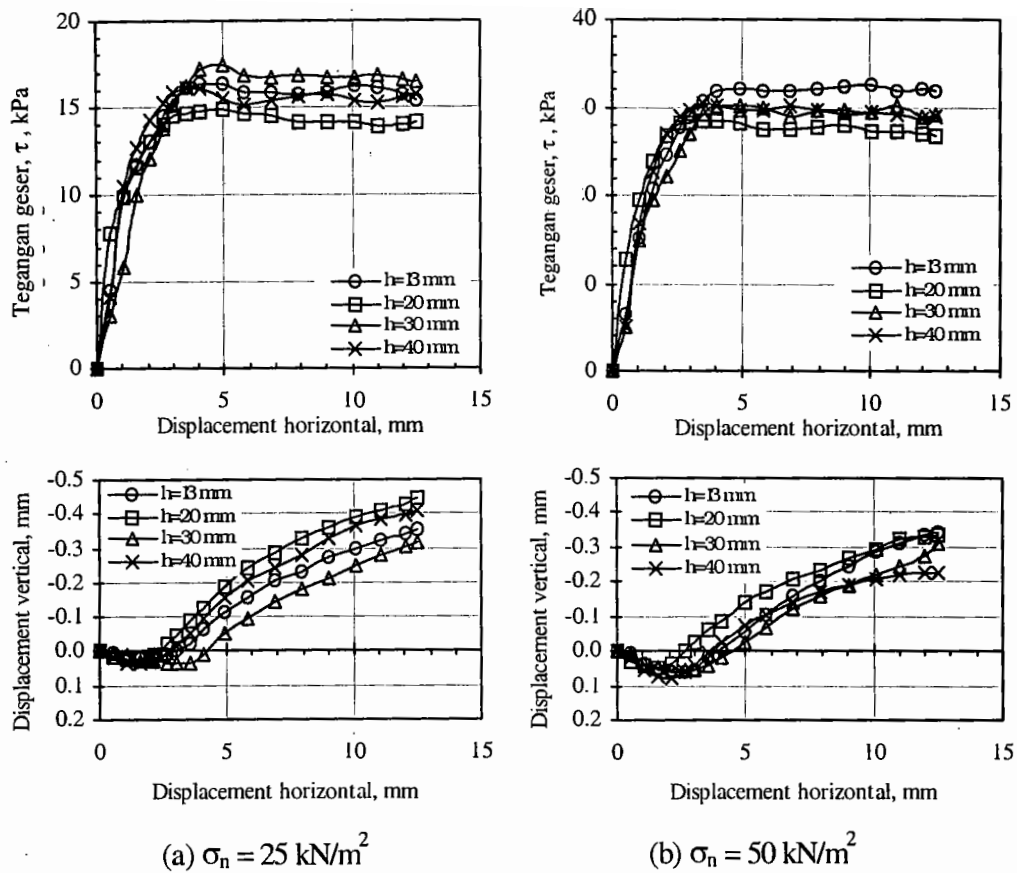
Hubungan gesekan dan perpindahan

Gambar 4 dan Gambar 5 memperlihatkan kurva-kurva hubungan tegangan geser dengan perpindahan

geser arah horisontal dan *perpindahan* arah horisontal dengan perpindahan arah vertikal untuk kedua tipe geotekstil TS 30 dan TS 60. Dari gambar tersebut tampak bahwa untuk bidang kontak pasir-geotekstil TS 30 pada tebal pasir $h = 20 \text{ mm}$ memberikan kekakuan geser awal yang lebih tinggi, sedangkan deformasinya menghasilkan kompresi yang lebih rendah dan ekspansi lebih tinggi. Hal serupa terjadi pada bidang kontak pasir-geotekstil. Untuk keduanya, pada tebal pasir $h = 30 \text{ mm}$ menghasilkan kekakuan geser awal yang terendah, dan kompresi yang dihasilkan relatif sama pada tebal pasir $h = 30 \text{ mm}$ dan $h = 40 \text{ mm}$, walaupun ekspansinya cenderung variatif. Secara umum, tegangan geser meningkat dengan peningkatan tegangan normal. Selain itu, variasi tebal pasir mempengaruhi besarnya tegangan geser, namun dengan perbedaan yang tidak begitu besar. Variasi tebal pasir juga berpengaruh pada deformasinya, dan terdapat kecenderungan peningkatan tebal pasir mengurangi kompresi, akan tetapi ekspansi meningkat.

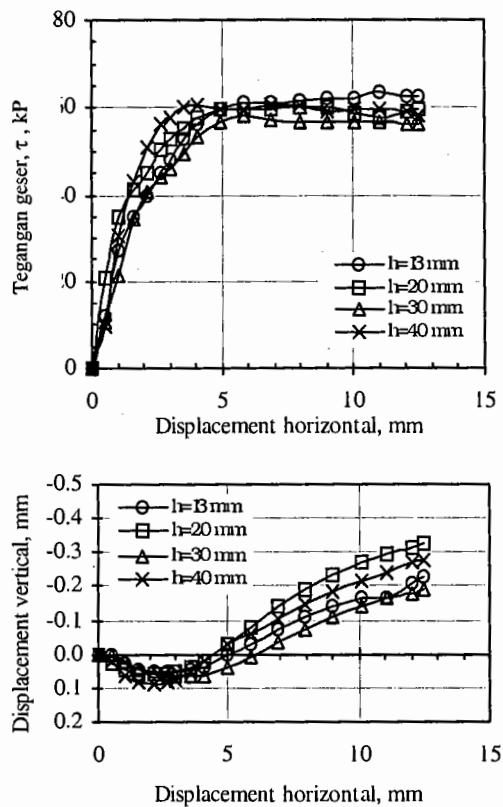


Gambar 2. Distribusi ukuran butiran pasir Pantai Sundak.



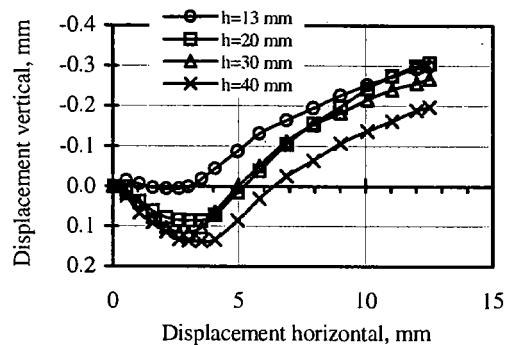
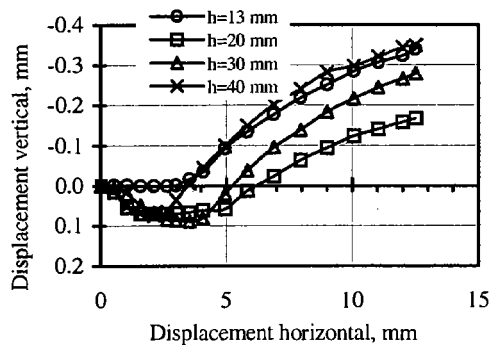
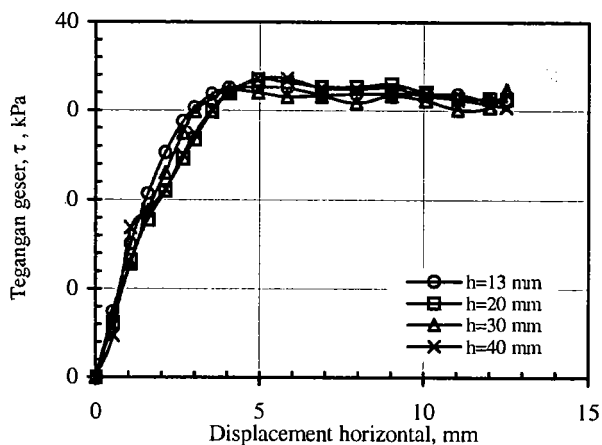
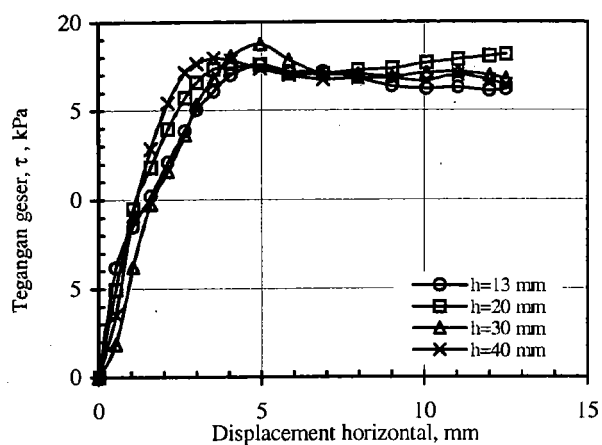
(a) $\sigma_n = 25 \text{ kN/m}^2$

(b) $\sigma_n = 50 \text{ kN/m}^2$



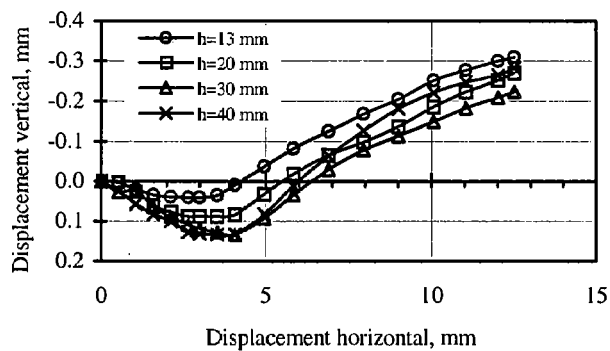
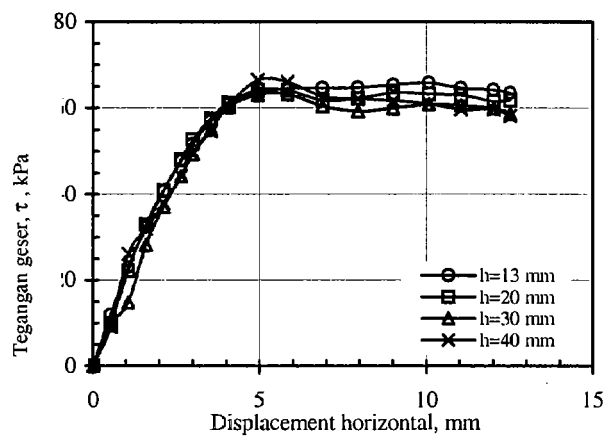
(c) $\sigma_n = 100 \text{ kN/m}^2$

Gambar 3. Kurva hubungan tegangan geser dengan perpindahan horisontal dan perpindahan horisontal dengan perpindahan vertikal pada tegangan normal tertentu untuk TS 30.



(a) $\sigma_n = 25 \text{ kN/m}^2$

(b) $\sigma_n = 50 \text{ kN/m}^2$



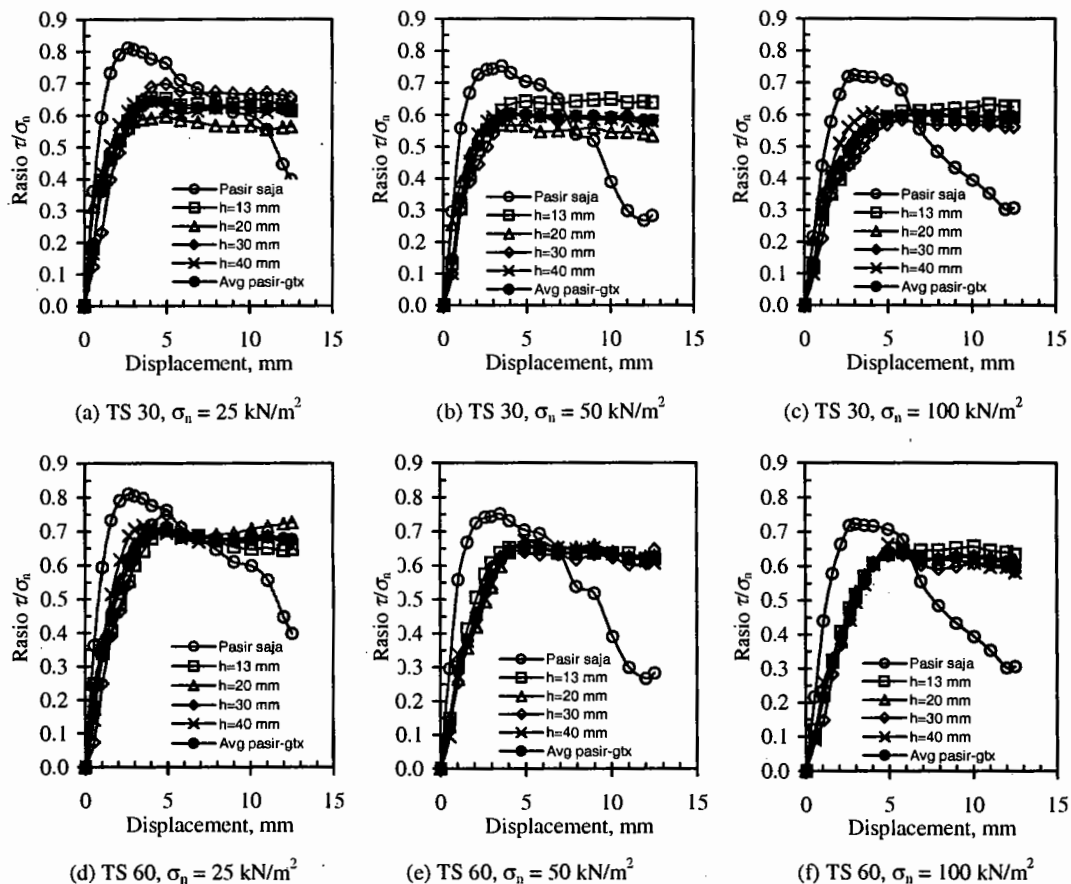
(c) $\sigma_n = 100 \text{ kN/m}^2$

Gambar 4. Kurva hubungan tegangan geser dengan perpindahan horisontal dan perpindahan horisontal dengan perpindahan vertikal pada tegangan normal tertentu untuk TS 60.

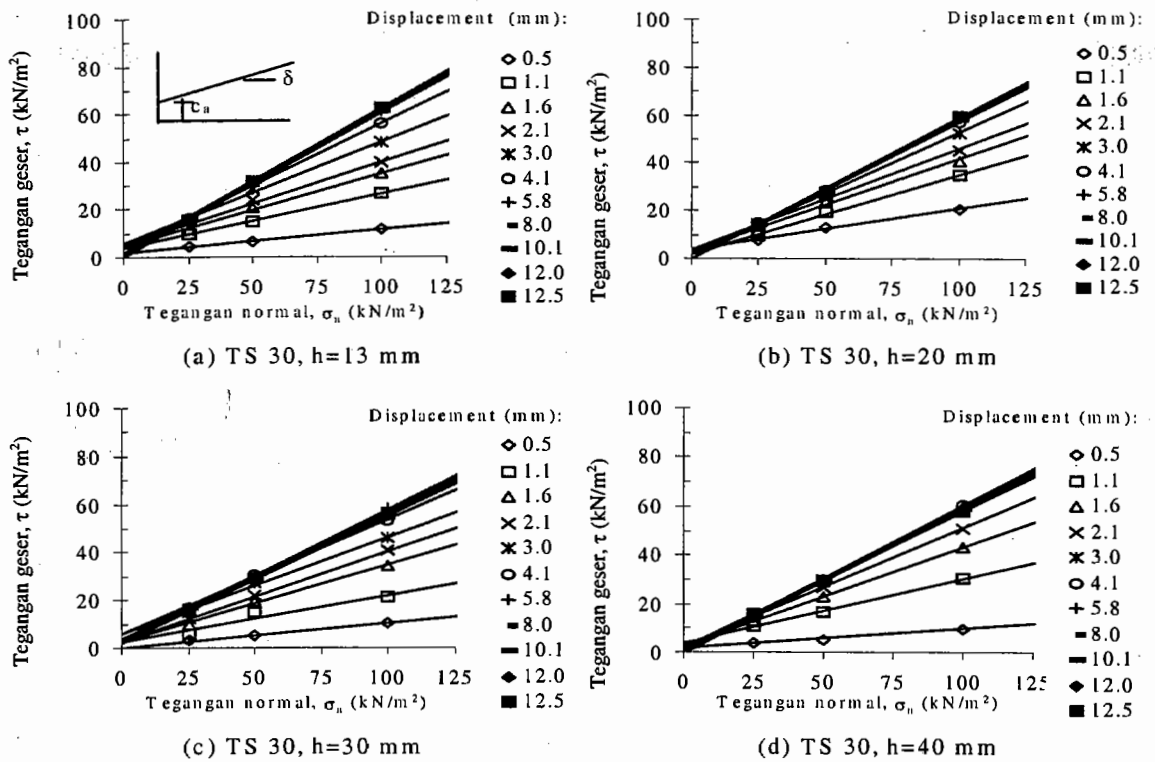
Sebagaimana yang telah diuraikan di atas, bahwa pengaruh variasi tebal pasir tidaklah signifikan terhadap tegangan geser. Hal ini tampak jelas pada Gambar 5. Rasio tegangan geser terhadap tegangan normal, (τ/σ_n) pada berbagai bidang kontak relatif sama besar, untuk setiap tegangan normal yang dikerjakan. Besarnya (τ/σ_n) pada bidang kontak pasir-geotekstil lebih rendah dibandingkan pada pasir saja, yang membuktikan bahwa tahanan geser *bidang kontak* lebih rendah dibanding tahanan geser pasir. Perbedaan rasio τ/σ_n pada setiap tebal pasir untuk bidang kontak pasir-geotekstil TS 60 terlihat sangatlah kecil. Diduga kekakuan geotekstil juga berpengaruh, oleh karena itu geotekstil dengan kekakuan yang lebih besar memberikan rasio τ/σ_n hampir sama besarnya, walaupun tebal pasir bervariasi. Pada Gambar 5 tampak pula bahwa setelah mencapai keruntuhan, rasio τ/σ_n cenderung menurun dengan peningkatan perpindahan geser. Pada kondisi residual, rasio τ/σ_n pada bidang kontak mencapai 2 kali rasio τ/σ_n pasir.

Parameter friksi termobilisasi (*mobilised friction parameters*)

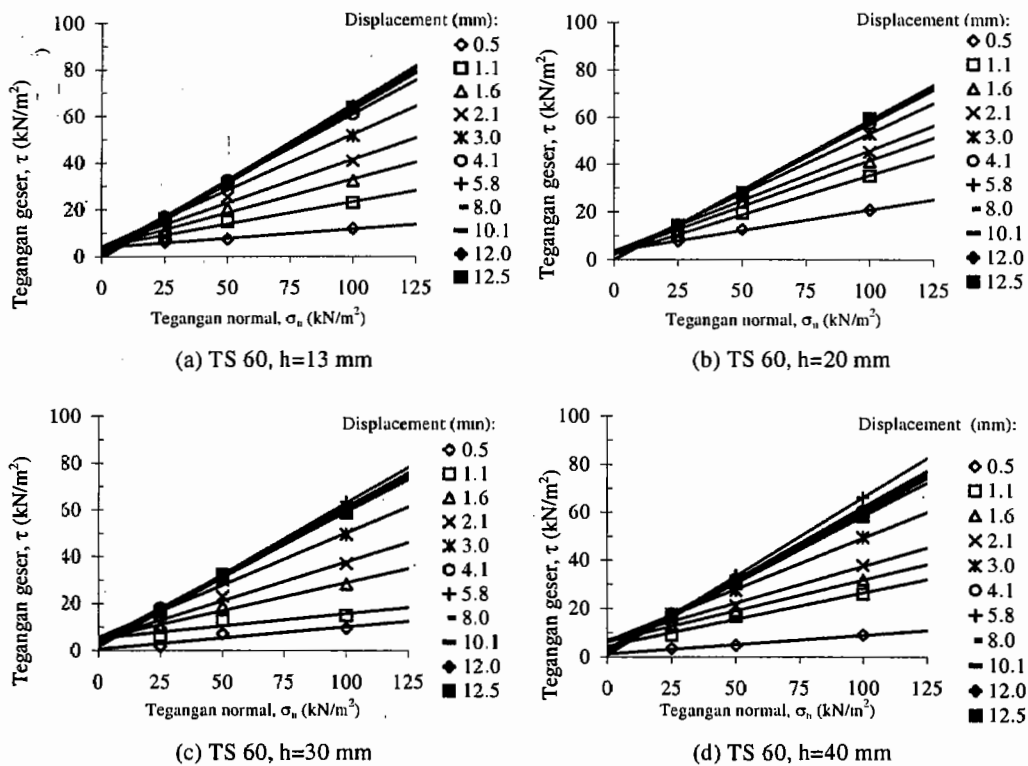
Gambar 6 dan Gambar 7 memperlihatkan parameter friksi termobilisasi, untuk semua tebal pasir. Tampak bahwa kenaikan tegangan geser seiring dengan kenaikan tegangan normal. Selain itu, termobilisasi perpindahan meningkatkan besarnya sudut gesek antara pasir dan geotekstil (δ), namun peningkatan tersebut mengurangi (c_a). Pada perpindahan geser yang lebih besar tampak bahwa kemiringan kurva lebih curam, mengindikasikan bahwa tahanan geser meningkat, akan tetapi pada setiap perpindahan nilai δ dan c_a relatif tidak bergantung pada tegangan normal. Selain itu, tidak terlihat perbedaan yang sangat signifikan pada setiap variasi tebal pasir, kecuali pada tebal pasir $h=20$ mm memberikan sudut gesek termobilisasi yang lebih besar pada perpindahan yang sangat rendah yaitu $0 \text{ mm} \sim 1,6 \text{ mm}$.



Gambar 5. Hubungan antara (τ/σ_n) dengan perpindahan geser arah horizontal untuk berbagai variasi tebal pasir dan tegangan normal.



Gambar 6. Friksi termobilisasi untuk berbagai tebal pasir pada bidang kontak pasir-geotekstil TS 30.

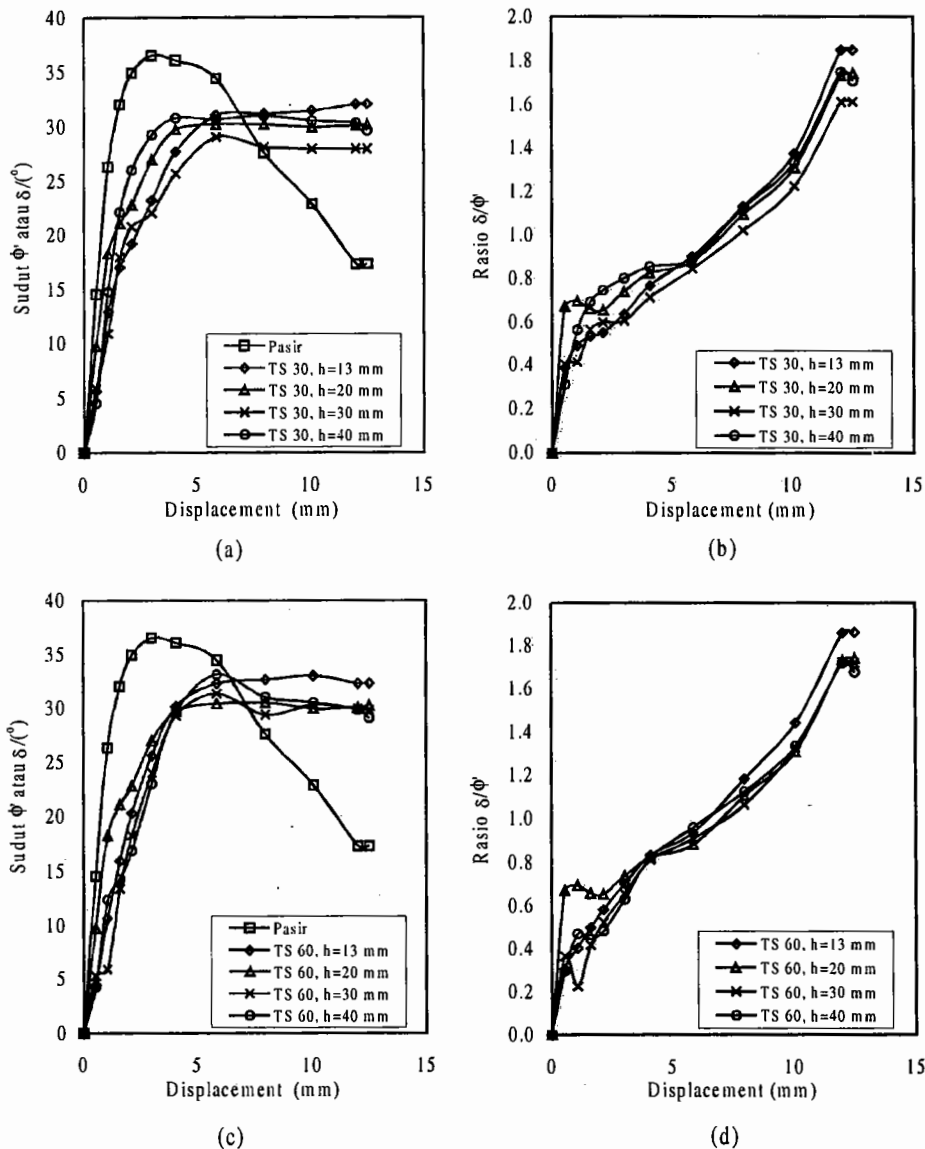


Gambar 7. Friksi termobilisasi untuk berbagai tebal pasir pada bidang kontak pasir-geotekstil TS 60.

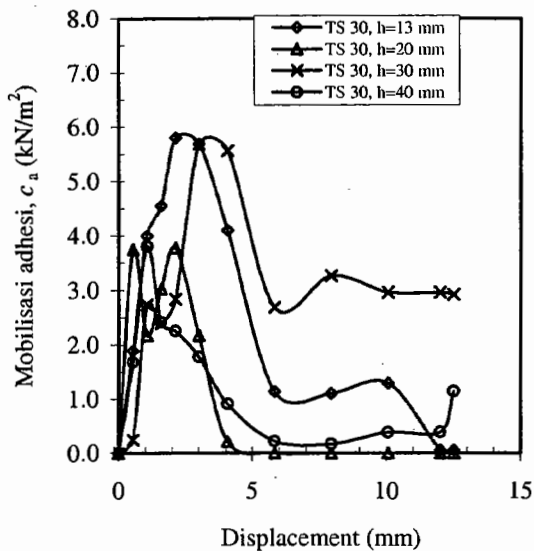
Gambar 8 memperlihatkan peningkatan δ terhadap perpindahan geser dan rasio δ/ϕ' . Pada tiap h untuk TS 30 (Gambar 8a), kenaikan δ mulai berkurang pada perpindahan 2 mm, sedangkan untuk TS 60 (Gambar 8c) pada perpindahan 4 mm, dan selanjutnya setelah mencapai nilai puncak, δ cenderung menuju nilai yang relatif konstan. Adapun termobilisasi sudut gesek internal tanah (ϕ') menghasilkan kenaikan yang lebih besar dibanding sudut gesek δ untuk berbagai bidang kontak lainnya. Setelah mencapai nilai puncak, ϕ' menurun drastis sekitar separohnya dibanding lainnya, yang selanjutnya menuju nilai yang relatif konstan.

Rasio (δ/ϕ') juga meningkat dengan perkembangan *perpindahan* geser sebagaimana terlihat pada Gambar 8b dan Gambar 8d. Pada berbagai tebal pasir (h), rasio (δ/ϕ') < 1,0 tercapai

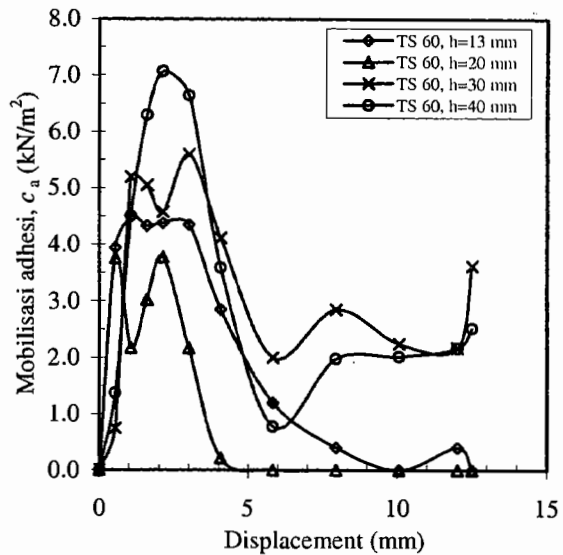
pada kondisi awal hingga kondisi runtuh. Setelah keruntuhan terjadi, maka rasio (δ/ϕ') $\geq 1,0$. Hal ini menunjukkan bahwa bidang kontak pasir-geotekstil pada *perpindahan* yang bersesuaian dengan keruntuhan atau yang lebih rendah, cenderung mempunyai tahanan geser yang lebih rendah pula dibanding tahanan geser pasir. Sebaliknya, pada perpindahan yang lebih besar cenderung mempunyai tahanan geser yang lebih besar pula dibanding tahanan geser pasir saja. Pada tahap ini, tahanan geser pasir terus menurun drastis yang kemudian menuju nilai yang konstan (residual). Perlu diingat bahwa penggeseran maksimum hanya tercapai pada regangan 12,5%. Untuk tebal pasir $h = 20$ mm dan $h = 40$ mm cenderung memberikan nilai rasio (δ/ϕ') yang sama setelah tercapainya keruntuhan.



Gambar 8. Sudut gesek termobilisasi dan rasio (δ/ϕ').



(a)



(b)

Gambar 9. Adhesi termobilisasi untuk TS 30 (a), dan TS 60 (b).

Gambar 9 memperlihatkan adhesi termobilisasi yang mengalami fluktuasi setelah tercapainya nilai maksimum (sesuai dengan Makiuchi dan Miyamori (1988), serta Puri, dkk., (2003)), dan cenderung menuju nilai yang relatif konstan. Untuk tiap tebal pasir, nilai adhesi maksimum tercapai pada perpindahan yang berbeda-beda. Disini juga dibuktikan bahwa peningkatan perpindahan geser termobilisasi mengurangi adhesi termobilisasi (c_a) hingga menuju nilai yang lebih rendah seperti telah dijelaskan sebelumnya. Adhesi termobilisasi yang mengalami fluktuasi setelah mencapai nilai puncak disebabkan oleh adanya bidang geser terkunci antara partikel pasir dan geotekstil (sesuai dengan Makiuchi dan Miyamori, 1988 serta Puri, dkk., 2003). Untuk keperluan desain, nilai adhesi yang rendah dapat diabaikan.

KESIMPULAN

Pengaruh tebal pasir terhadap proses parameter friksi termobilisasi yang diamati dari uji geser langsung pada bidang kontak pasir-geotekstil telah dilakukan dan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- 1) kompresi tanah cenderung meningkat dengan peningkatan tebalnya, sedangkan ekspansinya cenderung berkurang,
- 2) rasio sudut gesek yang termobilisasi (δ/ϕ') berkisar antara 0,60~0,80 untuk TS 30 dan 0,81~0,84 untuk TS 60 pada kondisi kedudukan

- 3) puncak dan pada rentang 1,61~1,85 untuk TS 30 dan 1,68~1,86 untuk TS 60 pada akhir uji,
- 4) pada tiap tebal pasir, tahanan geser bidang kontak lebih rendah daripada tahanan geser pasir terjadi pada perpindahan geser awal hingga perpindahan geser yang bersesuaian dengan keruntuhan. Sebaliknya, tahanan geser bidang kontak lebih besar dibanding tahanan geser pasir terjadi pada perpindahan geser yang lebih besar daripada perpindahan geser yang bersesuaian dengan keruntuhan,
- 5) untuk tebal pasir $h = 20$ mm dan $h = 40$ mm, rasio (δ/ϕ') cenderung memberikan nilai yang sama setelah tercapainya keruntuhan,
- 6) nilai adhesi maksimum tercapai pada perpindahan yang berbeda-beda untuk setiap tebal pasir,
- 7) secara umum ketebalan pasir mempengaruhi parameter friksi pada bidang kontak,
- 8) peningkatan perpindahan geser termobilisasi mengurangi adhesi termobilisasi. Setelah mencapai adhesi puncak, terjadi fluktuasi yang disebabkan oleh bidang geser terkunci antara partikel pasir dan geotekstil.

REFERENSI

- Alenowicz, J. dan Dembicki, E., 1990, Assessment of Sand-Geotextile Friction, *Proc., 4th Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Vol. 2, Den Hoedt (ed), Balkema, Rotterdam, p. 790.

- American Society for Testing and Materials (ASTM), 1997, *Annual Book of ASTM Standar*, Vol. 04.08.
- Djarwadi, D., 2000, Geotekstil sebagai kekuatan pada rekayasa geoteknik, *Forum Diskusi Teknik*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, 27 Mei 2000.
- Djarwadi, D., 1988, Design and construction of quay wall using geotextile, *Proc. Intrnt Geotechnical Symp. On Theory and Practice of Earth Perkuatan*, Balkema, Rotterdam, pp. 377-382.
- Garbulewski, K., 1990, Direct Shear and Pullout Frictional Resistance at the Geotextiles-Mud Interface, *Proc., 4th Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Vol. 2, Den Hoedt (ed), Balkema, Rotterdam, pp.737-742.
- PT. Tetrasa Geosinindo, *Product Catalog*, Jakarta.
- Irsyam, M. dan Shouman, M., 1998, Penggunaan metode elemen hingga pada perhitungan stabilitas dan penurunan timbunan jalan di atas tanah gambut, *The Finite Element Annually Seminar*, ITB. Bandung, pp. 134-146.
- Jewell, R.A., 1996, *Soil Reinforced with Geotextiles*, CIRIA, London.
- Koerner, R.M., 1994, *Designing with Geosynthetics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Lee, K.M. dan Manjunath, V.R., 2000, Soil-Geotextile Interface Friction by Direct Shear Tests, *Can. Geotech. J.*, Vol. 37, pp. 238-252.
- Makiuchi, K. dan Miyamori, T., 1988, Mobilisation of soil-geofabric friction, *Intrn. Geotechnical Symp. On Theory and Practice of Earth Reinforcement*, Yamanouchi dkk. (ed), Balkema, Rotterdam, pp. 129-134.
- Mitchell, J.K. dan Villet, W.C.B., 1987, Reinforcement of Earth Slopes and Embankments, *National Cooperative Highway Research Program Report 290*, Transportation Research Board, Washington D.C.
- Myles, B., 1982, Assessment of soil fabric friction by means of shear, *Proc., 2nd Int. Conf. On Geotextiles*, Vol. 3, Las Vegas, pp. 787-791.
- Puri, A., 2003a, Penentuan Interaksi Antara Pasir dan Geotekstil Menggunakan Uji Tekan Triaksial, *Tesis Magister*, Program Studi Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., dan Suhendro, B., 2003, Perilaku dan Mobilisasi Friksi Bidang kontak Pasir dan Geotekstil Niranyam pada Alat Geser Langsung Konvensional, Rahardjo dkk (ed), *Prosiding Konferensi Geoteknik Indonesia VI dan Pertemuan Ilmiah Tahunan VII*, HATTI, Jakarta, 11-13 Agustus 2003, pp.239-243.
- Suryolelono, K.B., 2000, Geosintetik geoteknik, Nafiri, Yogyakarta.